

# KENDALI MOTOR INDUKSI DENGAN THYRISTOR MODEL KHATER UNTUK BEBAN POMPA AIR

Oleh :

Ibrahim Nawawi

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tidar  
Magelang

## ABSTRACT

*Water pump is one of payload type which form of the characteristic not constant but square. This thing results thrift of dissociation energy of diatomic at induction motor that is is not efficient, because inappropriate induction motor performance of requirement wanted. To overcome the thing, motor payload must always is monitored and motor terminal voltage must also always organizable to can give strain according to requirement of load voltage electric motor is arranged by using 3 thyristor tide attached by series with motor terminal. In this handing out will be studied about voltage regulation of motor input by the way of arranging angle of takhantar ( $\gamma$ ) thyristor with model Khater. Angular value takhantar ( $\gamma$ ) thyristor at this handing out from  $0^\circ$  up to  $30^\circ$ , medium angle of triggering thirystor al-pha ( $\alpha$ ) from  $10^\circ$  up to  $88^\circ$ .*

**Key Words :** Induction motor, Thirystor, Water pump, Khater model.

## A. PENDAHULUAN

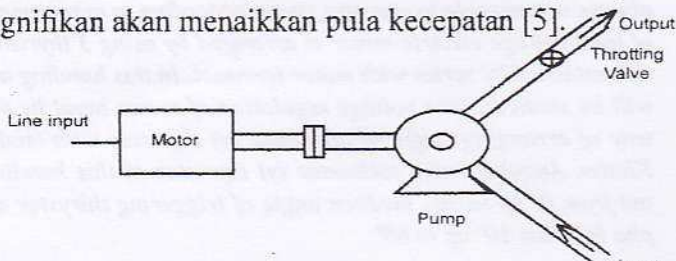
### 1. Latar Belakang

Pompa air adalah salah satu jenis beban yang karakteris-

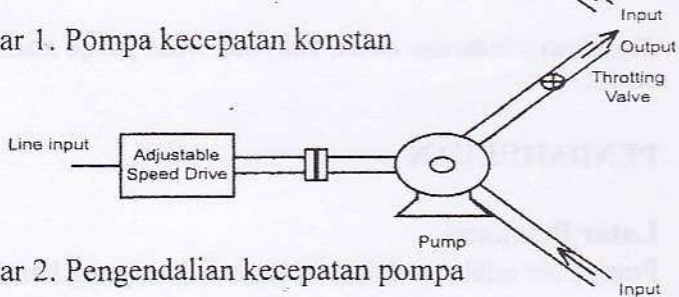
tiknya tidak konstan tetapi kwadratis. Hal ini mengakibatkan penghematan energi pada motor induksi tidak efisien, karena kinerja motor induksi tidak sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Untuk mengatasi hal ini, beban motor harus selalu dimonitor dan tegangan terminal motor harus selalu dapat diatur agar dapat memberi tegangan sesuai kebutuhan beban.

Kecepatan putar pompa air berkaitan langsung dengan debit air yang dihasilkan. Jika putaran pompa air tinggi maka debit air yang diperoleh juga tinggi, begitu juga sebaliknya, jika putaran pompa rendah maka debit air yang diperoleh juga rendah.

Pengendalian kecepatan putar pompa air secara sederhana ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Pada Gambar 1 motor dan pompa dioperasikan pada kecepatan konstan untuk mereduksi aliran yang stabil, katup ditutup secara parsial. Sedangkan pada Gambar 2 tampak bahwa kenaikan daya input secara signifikan akan menaikkan pula kecepatan [5].



Gambar 1. Pompa kecepatan konstan



Gambar 2. Pengendalian kecepatan pompa

## 2. Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada makalah ini ditekankan pada dua masalah utama, yaitu :

- a. masalah penghematan energi pada motor induksi tidak efisien, karena kinerja motor induksi tidak sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan.
- b. pengendalian motor induksi dengan beban berupa pompa air dengan thyristor model khater.

## 3. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai pengendalian motor induksi dengan menggunakan thyristor telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu seperti yang telah dilakukan oleh Bambang Sutopo (1991), dan Supari (2001).

Pada penelitiannya Bambang Sutopo (1991) pengendalian motor induksi dilakukan dengan menggunakan thyristor dengan tujuan untuk penghematan energi tetapi beban yang digunakan bukan berupa pompa air. Sedangkan Supari (2001) melakukan penelitian tentang pengendalian tegangan motor induksi dengan menggunakan thyristor berbasis mikrokontroler.

Penelitian memaparkan motor induksi dengan menggunakan thyristor model Khater untuk beban berupa pompa air.

### 3.1. Dasar Teori

Mesin penggerak pompa air yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor induksi 3 fase jenis motor sip tinggi (desain D NEMA). Motor ini dirancang untuk mempunyai torsi start yang tinggi dan arus start yang rendah. Torsi pompa air secara teoritis diekspresikan oleh :



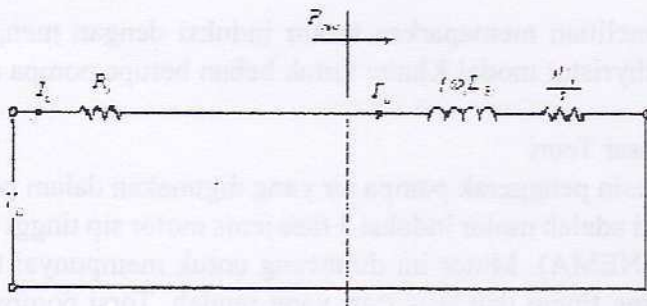
$$T_L = k\omega_m^2 \text{ N.m} \dots\dots\dots(1)$$

dengan  $T_L$  = Torsi beban,  $k$  =konstanta dan  $\omega_m$  = kecepatan putar motor.

Dari persamaan (1) tersebut tampak bahwa karakteristik torsi pompa berupa kurva yang naik secara kwadratis [3]. Karena torsi pompa (torsi beban =  $T_L$ ) tidak konstan maka akan mengakibatkan efisiensi motor induksi rendah. Karena mungkin sebagian waktunya berbeban nol. Motor induksi dengan beban penuh dapat memberikan faktor daya atau efisiensi yang tinggi seperti tercantum dalam papan namanya (name plate) sekitar 80%-90%. Namun bila motor hanya berbeban kecil maka faktor daya akan turun, dan bahkan bila tanpa beban, faktor daya motor bisa mencapai 30%.[1]

Rangkaian ekivalen satu fase motor induksi 3 fase dalam makalah ini ditunjukkan pada Gambar 3. Rangkaian ini dipilih dengan asumsi komponen gelombang harmonik dari motor induksi dapat diabaikan karena tidak mudah untuk diperhitungkan [3]. Dari Gambar 3 tampak bahwa :

$$I_a = I'_a \text{ A} \dots\dots\dots(2)$$



Gambar 3. Rangkaian ekivalen motor induksi satu fase

Dalam pengendalian kecepatan motor induksi dengan beban berupa pompa air ini maka harus kita asumsikan bahwa disipasi daya motor akibat gesekan dan angin ( $P_{FW}$ ) tidak ada.

$$P_{FW} = 0. W \dots\dots\dots(3).$$

ini mempunyai konsekuensi torsi motor (T) sama dengan torsi beban. ( $T_L$ ).

$$T = T_L . N . M \dots\dots\dots(4).$$

$$T = \frac{3p}{2} \frac{R' r l a^2}{s \omega s} = k \left[ \frac{2}{p} \omega_s (1-s) \right]^2 \quad N.m \dots\dots\dots (4.a)$$

Dengan  $p$  = banyaknya kutup;  $s$ =slip;  $\omega_s$ = putaran sinkron;  
 $I_a$  = arus motor

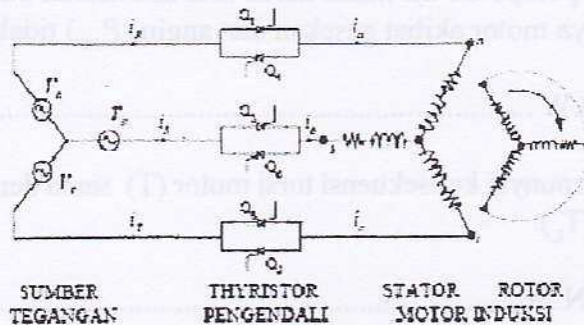
### 3.2. Pengendalian Tegangan Terminal Motor Induksi Dengan Thyristor

Salah satu metode pengendalian motor induksi tiga fase adalah dengan mengendalikan tegangan terminal motor. Cara ini dapat dipakai untuk mengatur energi masukan motor sesuai dengan kebutuhan beban, atau juga untuk memperbaiki faktor kerja motor [2]. Akan tetapi yang paling umum, cara ini digunakan untuk tujuan pengasutan motor sehingga arus motor tidak melonjak saat awal pemutaran motor (biasa disebut dengan soft starter.).

Pengendalian tegangan masukan motor induksi tiga fase dengan thyristor dapat diwujudkan dalam 3 konfigurasi, yaitu

- motor dan thyristor keduanya dalam konfigurasi bintang;
- motor terhubung bintang thyristor terhubung delta;

c. motor dan thyristor dalam konfigurasi delta.

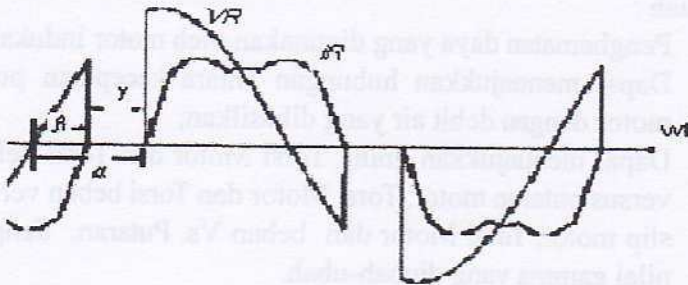


Gambar 4. Rangkaian motor induksi tiga fase terkendali thyristor

Pengendalian motor induksi tiga fase dapat dilakukan dengan mengatur tegangan terminal motor. Pengaturan tegangan terminal motor tersebut dapat dilakukan dengan menanamkan sepasang thyristor yang dihubungkan secara anti-paralel pada masing-masing fasenya, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 4. Sistem tersebut terdiri atas sumber tegangan tiga fase, dengan tiga pasang thyristor identik yang terhubung anti-paralel pada tiap fase motor besar. Sudut penyalaan thyristor dihitung dari titik persilangan nol tegangan sumbernya. Pengaturan tegangan terminal motor, diperoleh dengan mengatur penghantaran thyristor dengan urutan tertentu. Bentuk gelombang tegangan dan arus motor ditunjukkan oleh Gambar 5. Cara kerja pengendalian ini berdasarkan pada sifat thyristor yang digunakan sebagai saklar. Jika pada gerbang (gate) thyristor diberi pulsa, maka thyristor akan melakukan komutasi yaitu pergantian dari kondisi tak menghantar ke kondisi meng-



hantar. Ketika thyristor pada kondisi menghantar, tegangan jatuh antara ujung-ujung thyristor sekitar 0,25 volt sampai dengan 2 volt, tergantung jenis thyristornya. Komutasi dari keadaan menghantar menuju keadaan tidak menghantar terjadi ketika tegangan anoda lebih negatif dibandingkan tegangan katodanya.



Gambar 5. Bentuk tegangan dan arus motor induksi terkendali thyristor.

Notasi alfa ( $\alpha$ ) pada Gambar 5 menunjukkan sudut pemecuan (*firing angle*) dari thyristor (thyristor mulai ON). Notasi beta ( $\beta$ ) menunjukkan sudut saat thyristor mulai tak menghantar dan notasi gamma ( $\gamma$ ) menunjukkan sudut waktu thyristor tidak menghantar (NOTCH atau *hold of angle*).

Secara matematis notasi-notasi tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\alpha = \beta + \gamma \dots\dots\dots (5.a)$$

$$\beta = \alpha - \gamma \dots\dots\dots (5.b)$$

$$\gamma = \alpha - \beta \dots\dots\dots (5.c)$$

Jika sudut  $\alpha$  besar maka sumber tegangan ( $V_R$ ) akan menurun, begitu juga arusnya, jika sudut  $\alpha$  kecil maka sumber tegangan akan naik, begitu pula arusnya.

#### **4. Tujuan dan Manfaat**

Tujuan dan manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

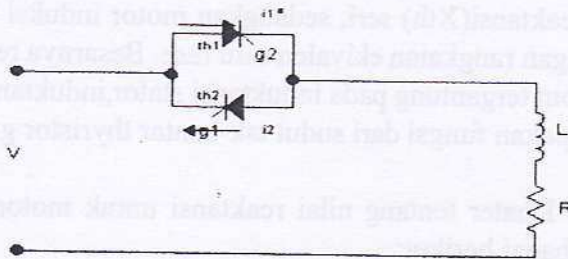
- a. Penghematan daya yang digunakan oleh motor induksi;
- b. Dapat menunjukkan hubungan antara kecepatan putar motor dengan debit air yang dihasilkan;
- c. Dapat menunjukkan grafik Torsi Motor dan Torsi beban versus putaran motor, Torsi Motor dan Torsi beban versus slip motor, Torsi Motor dan beban Vs. Putaran, dengan nilai  $\gamma$  yang diubah-ubah.

#### **B. METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah memodelkan motor induksi terkendali thyristor dengan model Khater (1986).

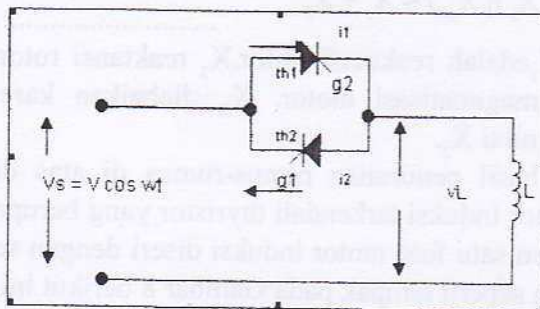
Untuk menyederhanakan analisis pengendalian rangkaian 3 fase, digunakan pengendalian rangkaian satu fase seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6. Rangkaian ini terdiri atas sepasang thyristor anti paralel dengan beban yang bersifat resistif dan induktif. Tegangan sinusoidal yang besarnya  $V$ , arus  $i_1$  mengalir pada thyristor  $th_1$  saat fase positif dan arus  $i_2$  mengalir pada thyristor  $th_2$  saat fase negatif.





Gambar 6. Pengendali dengan thyristor pada rangkaian satu fase

Dasar rangkaian yang digunakan adalah rangkaiian satu fase dengan beban induktif murni seperti terlihat pada Gambar 7. Thyristor sebagai saklar dianggap ideal, artinya ketika thyristor menghantar tidak terjadi penurunan tegangan, dan rugi-rugi sistem dianggap nol. Tegangan masukan sebesar  $V_s = V \cos \omega t$ .



Gambar 7. Beban induktif satu fase terkendali thyristor

Dari Gambar 7 diketahui bahwa selama thyristor tidak menghantar, tegangan yang melalui induktor L adalah nol karena tidak ada arus yang mengalir padanya. Khater menganalisis unjuk kerja motor dengan memodelkan thyristor anti-paralel

sebagai reaktansi( $X_{th}$ ) seri, sedangkan motor induksi dimodelkan dengan rangkaian ekivalen satu fase. Besarnya reaktansi seri tersebut tergantung pada induktansi stator, induktansi rotor dan merupakan fungsi dari sudut tak-hantar thyristor gamma ( $\gamma$ )[4].

Rumusan Khater tentang nilai reaktansi untuk motor 3 fase adalah sebagai berikut:

$$X_{th} = \omega L \frac{\frac{3}{2\pi} (\gamma + \sin \gamma)}{1 - \frac{3}{2\pi} \left[ \frac{\gamma + \sin \gamma}{\pi} \right]} = \omega L \frac{f(\gamma)}{1 - f(\gamma)} \dots\dots\dots(6)$$

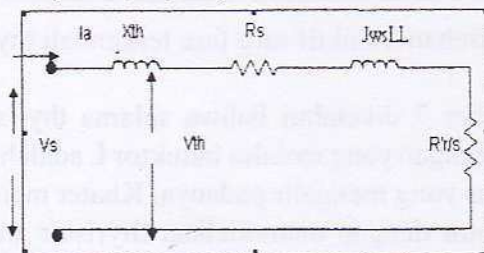
$$V_{th} = \frac{3}{2\pi} (\gamma + \sin \gamma) \cos \omega t \dots\dots\dots(7)$$

Reaktansi rangkaian diperoleh dari rangkaian ekivalen motor gambar 6 yang dirumuskan sebagai :

$$X = X_L + (X_2 \parallel X_m) \approx X_1 + X_2 \dots\dots\dots(8)$$

Dengan  $X_1$  adalah reaktansi stator,  $X_2$  reaktansi rotor dan  $X_m$  reaktansi magnnetisasi motor.  $X_m$  diabaikan karena kecil dibanding nilai  $X_2$ .

Dari hasil penurunan rumus-rumus di atas dihasilkan model motor induksi terkendali thyristor yang berupa rangkaian ekivalen satu fase motor induksi diseri dengan sebuah induktor  $X_{th}$  seperti tampak pada Gambar 8 berikut ini :



Gambar 8. Rangkaian ekivalen motor induksi terkendali thyristor model Khater

Jika pada rangkaian ekivalen Gambar 8 dicatu dengan tegangan efektif sumber sebesar  $V_1$ , sebelum thyristor diaktifkan ( $\gamma = 0$ ), maka sesuai persamaan (6) reaktansi  $X_{th} = 0$ , sehingga motor seperti dicatu dengan tegangan sumber secara langsung. Bila thyristor diaktifkan, berarti nilai  $\gamma \neq 0$ , maka  $X_{th}$  akan bernilai, sehingga pada thyristor akan mengalir arus  $i$  dan timbul tegangan sebesar  $V_{th}$  sesuai persamaan (7). Adanya tegangan pada thyristor ini tentu akan mengurangi tegangan masukan  $V_s$ . Sesuai persamaan (7) tegangan thyristor  $V_{th}$  akan bertambah besar bila  $\gamma$  diperbesar. Hal ini mengakibatkan semakin menurunnya tegangan  $V_s$  yang masuk ke motor. Jadi dengan rangkaian ekivalen motor induksi terkendali thyristor ini pengaturan tegangan masukan motor dilakukan dengan cara mengatur sudut takhantar  $\gamma$ .

Dari persamaan (6) terlihat bahwa thyristor merupakan fungsi dari sudut gamma ( $\gamma$ ). Jika nilai gamma ( $\gamma$ ) semakin besar maka nilai  $X_{th}$  akan semakin besar dengan tidak linier. Agar daerah pengendalian tetap di daerah linier maka harus dipilih daerah nilai  $\gamma$  antara  $0^\circ - 60^\circ$ .

### C. Hasil dan Pembahasan

Untuk simulasi digunakan parameter motor induksi sebagai berikut :

Motor induksi kelas D dengan daya 60-hp (44,8 kW),  $V_s = 460$  volt,  $f = 60$  Hz,  $\omega_m = 1530$  rpm;  $\omega_s = 1800$  rpm;  $R_s = 0,119 \Omega$ ;  $R'_r = 0,508 \Omega$ ;  $\omega_{sLL} = 0,806 \Omega$

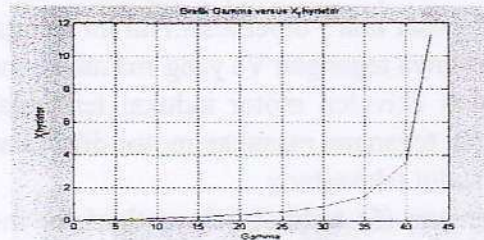
Pompa air beroperasi pada putaran  $765 < n < 1530$  rpm.



Pompa akan menyerap daya sebesar 60-hp pada saat putaran 1530 rpm.

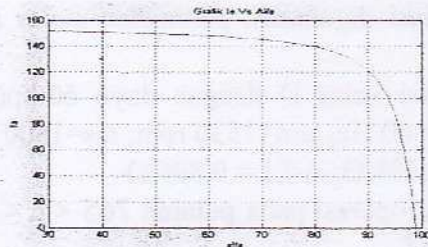
Pada Gambar 10 tampak jika sudut picu thyristor alfa ( $\alpha$ ) semakin besar maka arus motor  $I_a$  akan turun, ini akibat dari berkurangnya tegangan sumber motor induksi karena adanya tegangan jatuh  $V_{th}$  pada thyristor.

Pada Gambar 11 dan Gambar 12 tampak bahwa torsi maksimum terjadi pada saat slip motor sama dengan 0,5 atau putaran motor sebesar 750 rpm. Sedangkan titik perpotongan antara torsi motor dengan torsi beban terjadi pada saat slip motor sama dengan 0,15 atau putaran motor sebesar 1530 rpm.

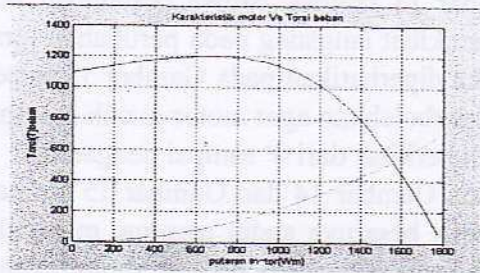


Gambar 9. Gamma versus Reaktansi thyristor

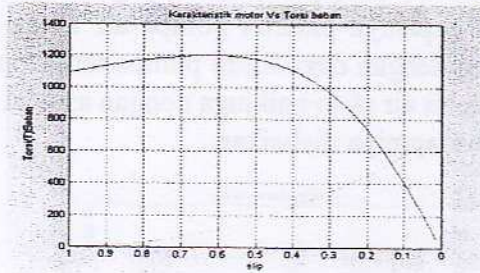
Pada Gambar 9 tampak bahwa jika nilai gamma ( $\gamma$ ) semakin besar maka nilai  $X_{th}$  akan semakin besar secara tidak linier.



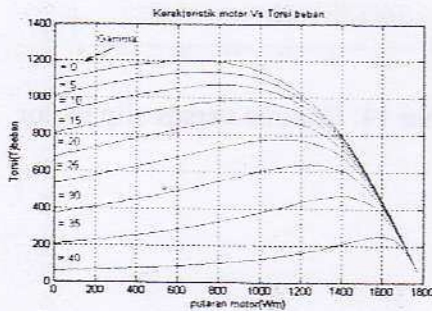
Gambar 10. Ia Versus sudut alfa



Gambar 11. Torsi Motor dan Torsi beban versus putaran motor.



Gambar 12. Torsi Motor dan Torsi beban versus slip motor

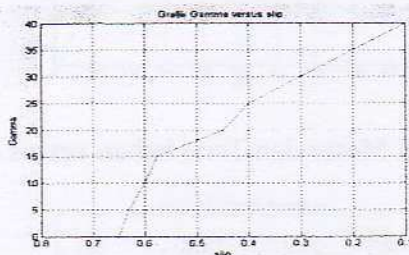


Gambar 13. Torsi Motor dan beban Vs. Putaran, Gamma diu-

bah-ubah dari 0– 40

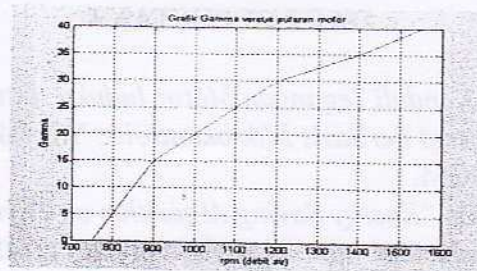
Dari Gambar 13 tampak bahwa bertambah besar nilai gamma akan berakibat langsung pada perubahan torsi maksimum motor. Jika diperhatikan pada Gambar 13 tersebut nilai gamma yang diperbolehkan agar motor masih mampu memutar beban adalah berkisar dari  $0^\circ$  sampai dengan  $30^\circ$ .

Sedang pada Gambar 14 dan Gambar 15 tampak bahwa dengan bertambah besarnya sudut gamma, maka slip motor akan bertambah kecil sebaliknya putaran motor akan semakin tinggi. Dengan tingginya kecepatan putar motor maka akan berakibat putaran beban ( pompa air ) juga bertambah. Dengan bertambah cepatnya putaran pompa air maka akan berakibat langsung dengan daya hisap pompa terhadap air akan naik, sehingga debit air akan naik juga dengan asumsi rugi-rugi gesekan air terhadap pipa diabaikan.



Gambar 14. Gamma versus slip motor





Gambar 15. Gamma versus putaran motor (debit air)

#### D. KESIMPULAN

Dari pembahasan dan hasil simulasi dapat disimpulkan Pompa air adalah salah satu jenis beban yang karakteristiknya tidak konstan tetapi kwadratis. Hal ini mengakibatkan penghematan energi pada motor induksi yang tidak efisien, karena kinerja motor induksi tidak sesuai kebutuhan yang diinginkan. Untuk mengatasi hal ini, beban motor harus selalu dimonitor dan tegangan terminal motor harus selalu dapat diatur agar dapat memberi tegangan sesuai kebutuhan beban. Tegangan motor listrik diatur dengan menggunakan 3 pasang thyristor yang dipasang seri dengan terminal motor. Khater menganalisis unjuk kerja motor dengan memodelkan thyristor anti-paralel sebagai reaktansi ( $X_{th}$ ) seri, sedangkan motor induksi dimodelkan dengan rangkaian ekuivalen satu fase. Besarnya reaktansi seri tersebut tergantung pada induktansi stator, induktansi rotor dan merupakan fungsi dari sudut tak-hantar thyristor gamma ( $\gamma$ ). Nilai sudut takhantar ( $\gamma$ ) thyristor pada makalah ini dari  $0^\circ$  sampai dengan  $30^\circ$ , sedang sudut picu tiristor alfa ( $\alpha$ ) dari  $10^\circ$  sampai dengan  $88^\circ$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- Supari. 2001. *Kendali Tegangan Motor Induksi untuk Penghematan Energi Berbasis Mikrokontroler*. Yogyakarta. Tesis S2, TE-UGM.
- Sutopo B. 1991. *"Energy Saving Algorithm on Thyristor Controlled Induction Motor"*. Brighton. M.Phil thesis, University of Sussex.
- Dewan. S.B., Slemon, G.R., dan Straugen, A., 1984. *"Power Semiconductor Drives"*. New York. John Wiley and Sons, Inc.
- Khater, F.M.H., dan Novotny, D.W., *"An Equivalent-Circuit Model for Phase-Back Voltage Control of AC Machines"*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.IA-22, No. 5, Sep/Oct 1986, pp. 835-841.
- Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, *"Power Electronics Converters, Applications and Design"*